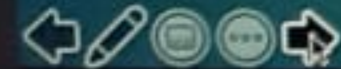
Natürliche Strahlung

- Strahlung aus der Umwelt, die nicht durch **den** Einfluss der Menschen entstanden ist
- Durchschnittlich **2,1 µSv pro Jahr** in Mitteleuropa

1. Kosmische Strahlung (Weltall)
2. Terrestrische Strahlung (→ **Radon! Lungenkrebs!**)



Künstliche Strahlenbelastung

- aus künstlichen Strahlenquellen
- durchschnittlich 2 µSv pro Jahr

Ursachen:

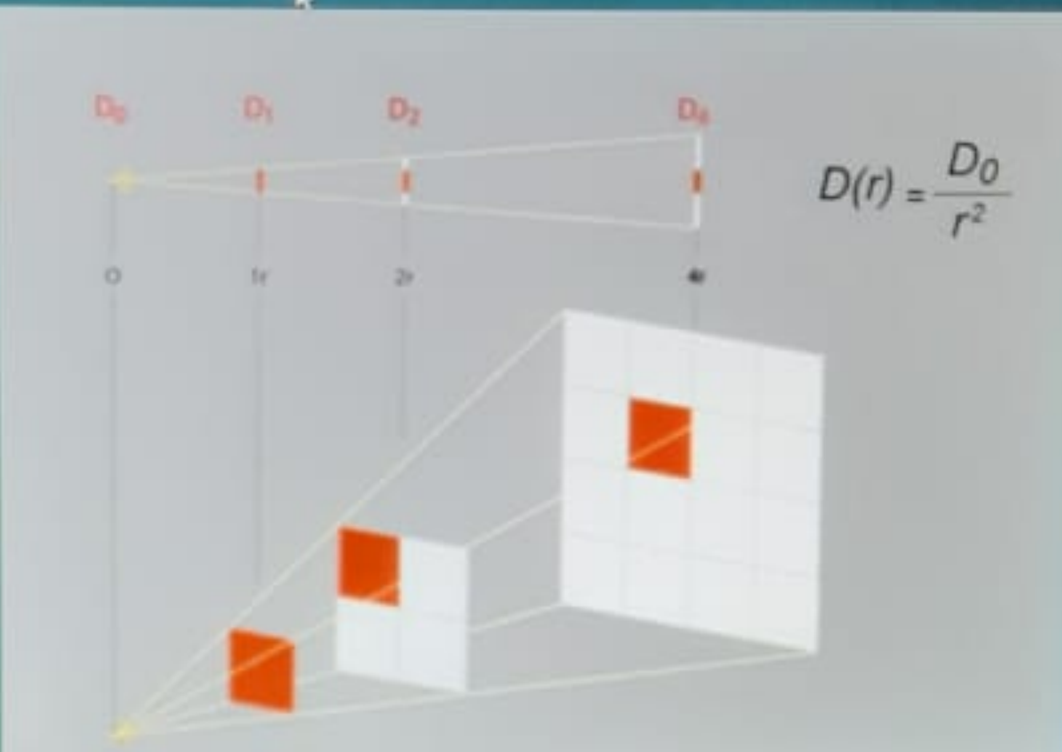
1. Medizinische Diagnostik und Therapie
2. Technik und Forschung

Abstandsquadratgesetz

- Je größer der Abstand zur Strahlenquelle, desto geringer ist die Strahlenbelastung

- Strahlendosis nimmt mit dem **Quadrat der Entfernung** zur Strahlenquelle **ab**

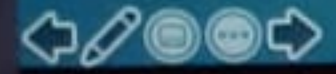
Aufgrund der **Divergenz** der Strahlung nimmt die **Dosisleistung pro Fläche** mit zunehmenden **Abstand** von der Strahlenquelle ab (umgekehrt proportional).



D.h.

verdoppelt sich der Abstand, verringert sich die Dosisleistung auf ein Viertel,

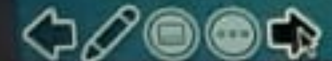
verdreifacht sich der Abstand, verringert sich die Dosisleistung auf ein Neuntel u.s.w..

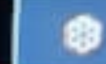


Beispiele zum Abstandquadratgesetz:

- Verdoppelt sich der Abstand
  →verringert sich die Belastung auf ¼
- Verdreifacht sich der Abstand
  →verringert sich die Belastung auf 1/9
- Vervierfacht sich der Abstand
  → verringert sich die Belastung auf 1/16

→ D.h. die Strahlenbelastung **nimmt proportional mit dem Quadrat des Abstandes ab.**






Allgemeine Dosisbegriffe im Strahlenschutz

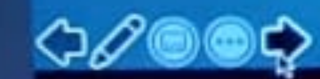
Energiedosis (D):

→ gibt an, wie hoch die <u>aufgenommene Strahlendosis</u> (=Energiedosis) des Körpers ist, denn

→ Folgeschäden hängen von der Energiedosis ab

Energiedosis (D) = $\frac{\text{Energie (J)}}{\text{Masse (kg)}}$ in Gy (Gray)

1 Gy = 1 J/kg



• Äquivalentdosis (D_q)

→ beschreibt die Strahlenbelastung, d.h. die „Gefährlichkeit“ von Strahlen)

- eine physikalische Größe
- erfasst die biologische Wirkung radioaktiver Strahlung
- D = Energiedosis
- q = Wichtungsfaktor (Wirksamkeit/Gefährlichkeit)
  - **D_q = Energiedosis x q**



Effektive Dosis (früher: effektive Äquivalentdosis – Einheit: mSv)

→ beschreibt die Strahlenempfindlichkeit der unterschiedlichen Gewebe / Organe

→ jedes Gewebe / Organe hat seine eigene Strahlenempfindlichkeit (W)

→ W ist wichtig für das Risiko von Strahlenschäden



Effektive Dosis (früher: effektive Äquivalentdosis) (mSv)

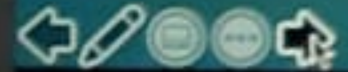
- beschreibt **Strahlenempfindlichkeit der verschiedenen Organe**
- Wird berechnet aus den Faktoren:
  - Energiedosis, die ein bestimmtes Organ aufgenommen hat **(=Organdosis)**

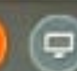
  und

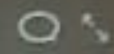
  - **Strahlenempfindlichkeit (W)** bestimmter Gewebe

- Effektive Strahlendosis =Strahlendosis x Wichtungsfaktor

Einheit: mSv

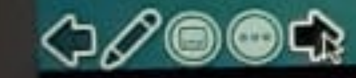




Ortsdosis

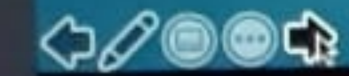
- beschreibt die Strahlenbelastung/-dosis an einem bestimmten Ort (Bereich)
- Ortsdosis = Äquivalentdosis für einen bestimmten Ort (Bereich)
- Einheit: mSv

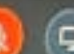
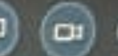
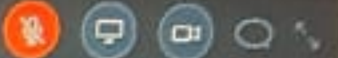


Ortsdosisleistung

- = Summe aller Ortsdosen über einen definierten Zeitraum

- Einheit: Sv / h



Strahlenschutzbereiche

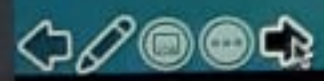
- Definition:

  räumlich abgetrennte Bereiche, in dem die ionisierende Strahlung oberhalb der gesetzlichen Grenzwerte liegt

- Je nach Ortsdosis unterscheidet man:
  - Überwachungsbereich
  - Kontrollbereich
  - Sperrbereich



Quelle: Wikipedia



Sinn der Strahlenschutzbereiche

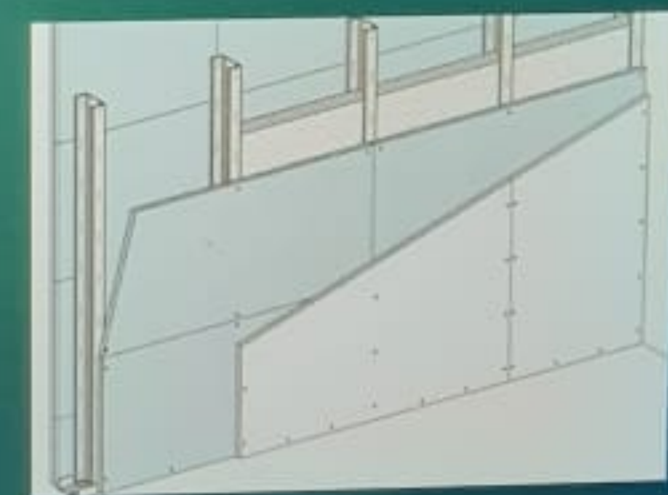
- Bevölkerung bzw. Klinikpersonal vor ionisierender Strahlung zu schützen

Merkmale von Strahlenschutzbereichen

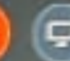
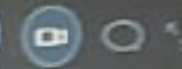
- Besondere bauliche Maßnahmen
- Deutliche Kennzeichnungen



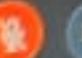
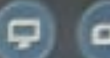







Personendosis

- Gibt die Höhe der Strahlenbelastung des Menschen im Körper an (z.B. Mitarbeiter Radiologie)
- Dosimeter wird am Körper getragen
- Einheit: Sv





Dosimeter = Messgerät zur Messung der Energiedosis im Strahlenschutz






Neue Strahlenschutzverordnung (StrSchV):

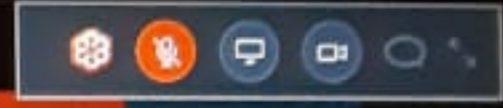
- ist zusammen mit dem neuen Strahlenschutzgesetz (StrSchG) am 31.Dezember 2018 in Kraft getreten

- ersetzt die alte Röntgenverordnung und die alte Strahlenschutzordnung

- Änderung bezüglich der Personen-Dosimetrie → ***Dosismanagement***

Tatsächliche Strahlenbelastung

- Dosimeter und Bleischürze

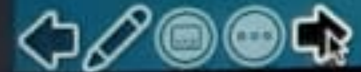


Organdosis (Teilkörperdosis)

- Äquivalentdosis von nur einem Teil oder Organ des Körpers
- Die Summe aller Organdosen (Teilkörperdosen) ergibt die Gesamtkörperdosis
- **Einheit: Sv**





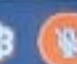


Körperdosis (Ganzkörperdosis)

- gesamte Strahlenbelastung eines Körpers
- Summe der Personendosen aller Zeiträume mit Strahlenbelastung
- **Einheit: mSv**

Wichtige Punkte der neuen StrSchV

1. Dosismanagement
2. Strahlenschutzregistriernummer (SSR - lebenslang)
3. „Vorkommnisse"
4. 31. Dezember 2018

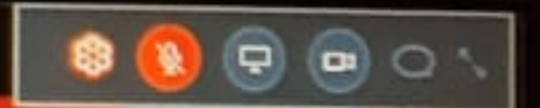




Strahlendosen bei medizinischen Untersuchungen

- Röntgen - Thorax: **0,05 mSv**
- Röntgen Abdomen-Übersicht: **2 mSv**
- CT-Thorax: **9 mSv**
- CT-Abdomen: **12 mSv**
- CT-Angiografie: **13 mSv**





Strahlenschutzgesetz (StrSchG) Strahlenschutzverordnung (StrSchV)

- 3-A-Regel → **A**bstand - **A**bschirmung - **A**ufenthalt

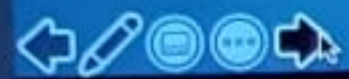
- Atomgesetz!

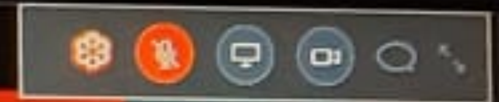


Dokumentation und Aufbewahrungsfristen

Der Arzt muss jede radioaktiver Verabreichung:

- schriftlich dokumentieren!
- 10 Jahre aufbewahren!
- bei Strahlentherapie: 30 Jahre!





Kontrollbereiche für exponierte Personengruppen

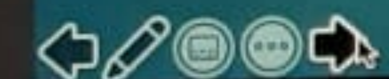
Strahlenexponierte Person Kategorie A:

→max. 20 µSv pro Jahr

Strahlenexponierte Person Kategorie B:

→max. 6 µSv pro Jahr (Minderjährige: 1 µSv pro Jahr)

Schwangere: dürfen nicht in Kontrollbereichen arbeiten!



Strahlenschutzbereiche
(gesetzlich vorgeschrieben)

Sperrbereich:
- bis 3 mSv pro Stunde

Kontrollbereich:
- bis 6 mSv pro Jahr

Überwachungsbereich:
- bis 1 mSv pro Jahr

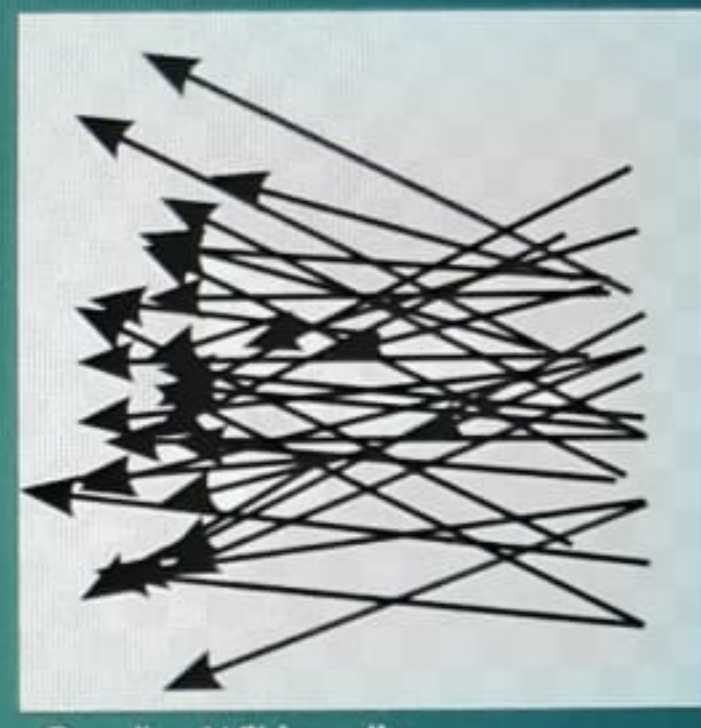


Überwachung und Einhaltung der Ortsdosen sind **gesetzlich geregelt !!!**

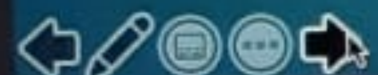
Streustrahlung

-Entstehen durch Streuung der Röntgenstrahlen im durchleuchteten Objekt

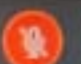
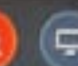
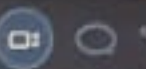
= Strahlen, die bzgl. ihrer Richtung abgelenkt sind



Quelle: Wikipedia

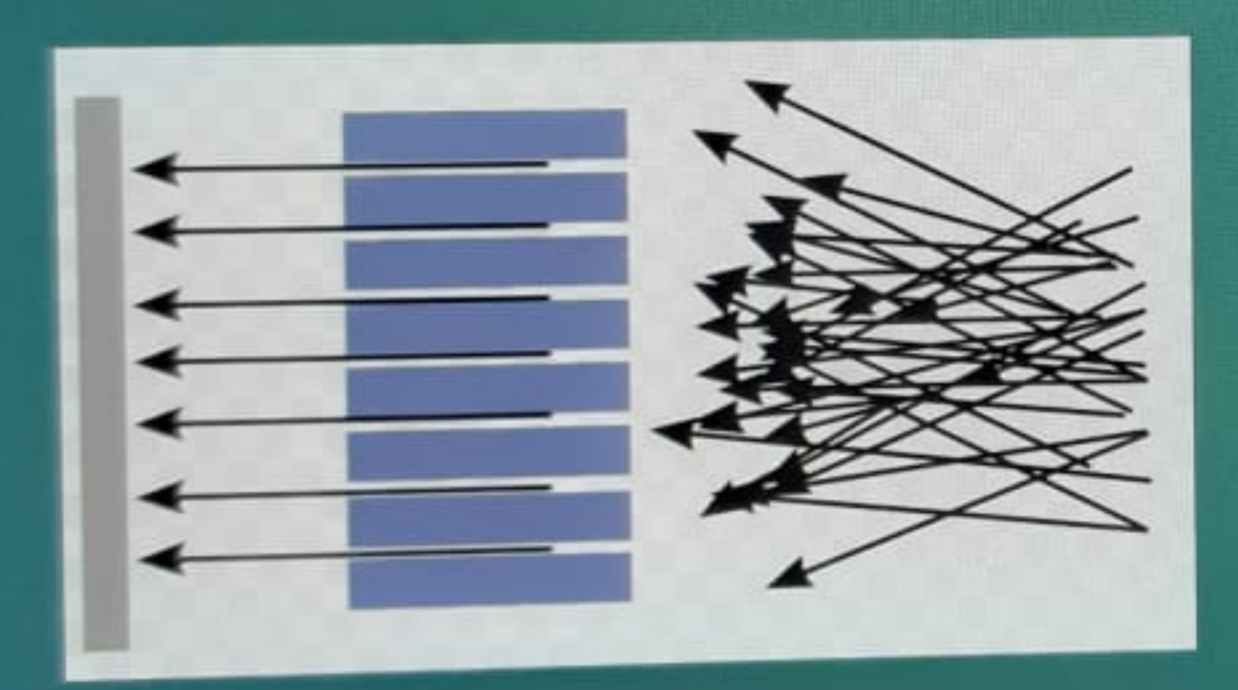




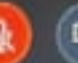
Streustrahlenraster

- technische Vorrichtung in der Röntgentechnik,
- zur Reduzierung von Streustrahlung
- wird zw. Patient und Röntgenfilm eingesetzt



Quelle: Wikipedia







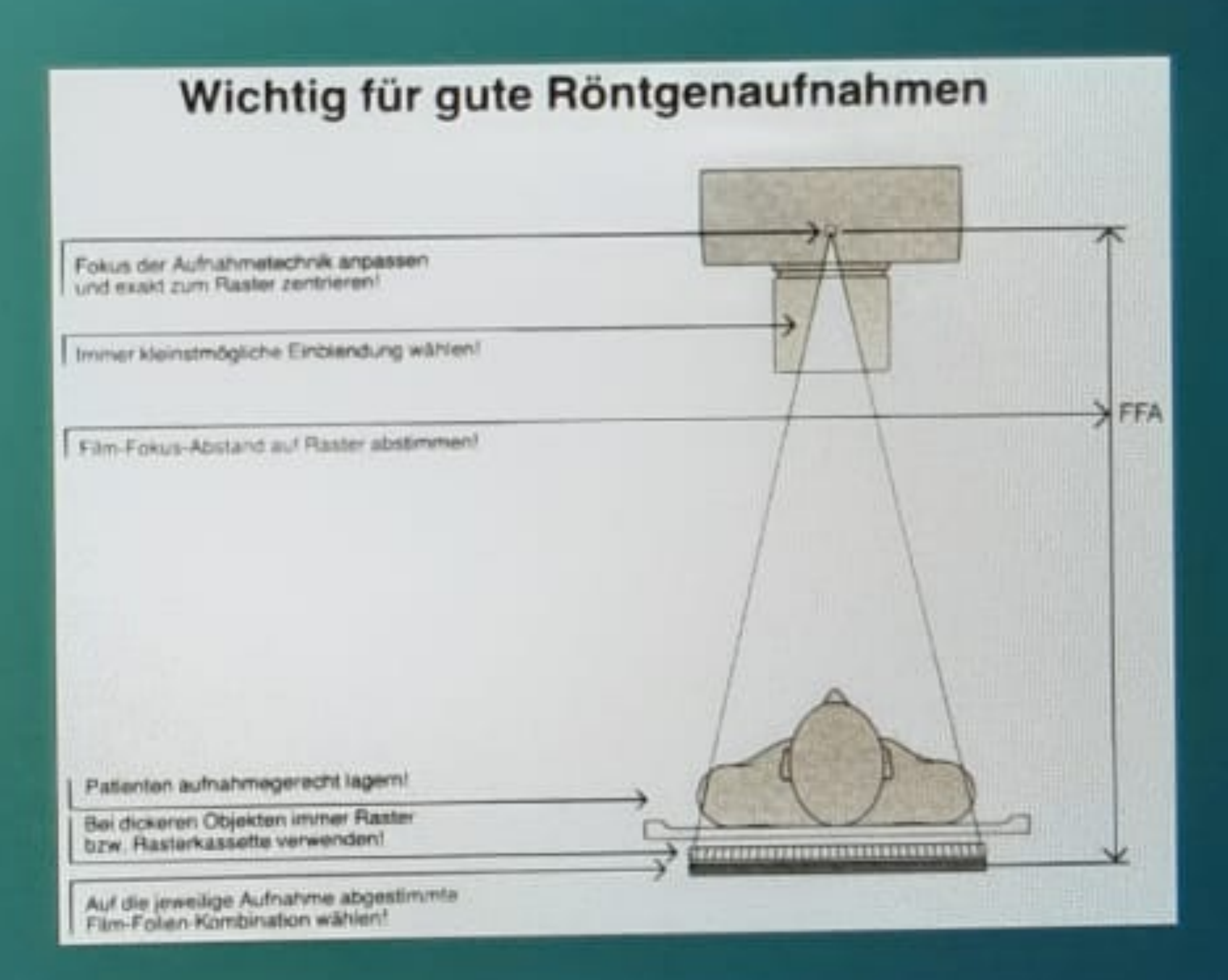

Streustrahlung

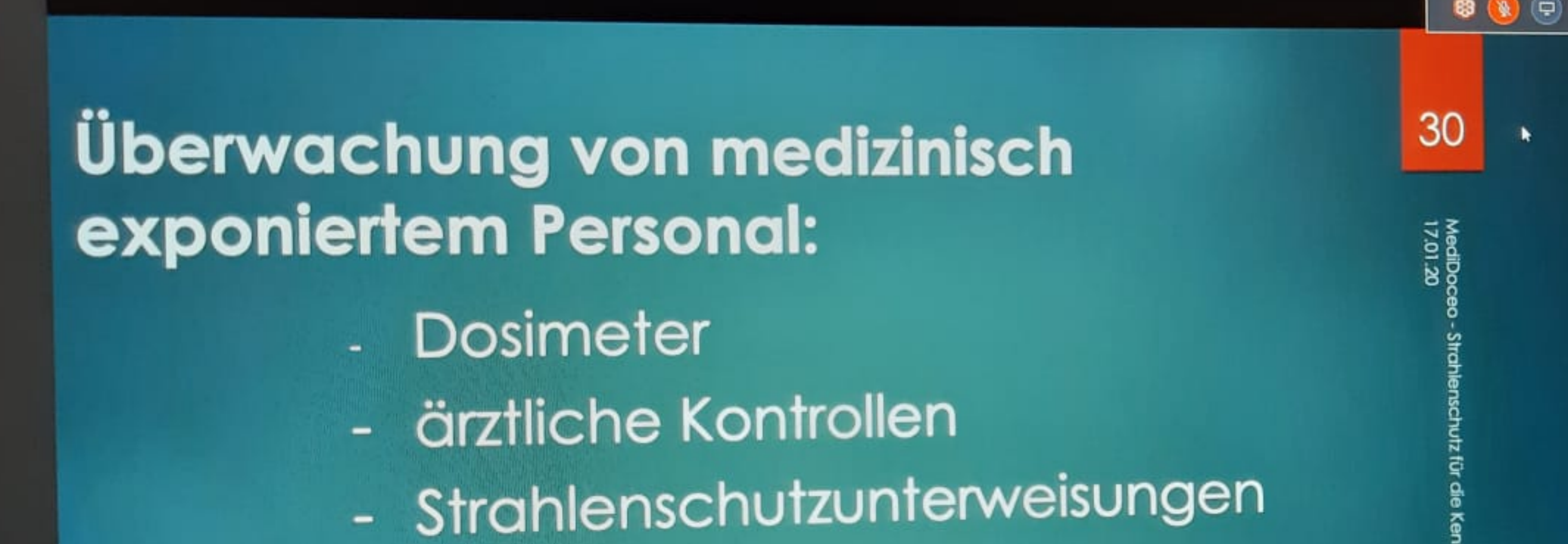
Wird verringert durch:

- Streustrahlenraster
- Einblendung eines Strahlenkegels

Warum?

- zum Schutz des medizinischen Personals
- Für bessere Bildqualität

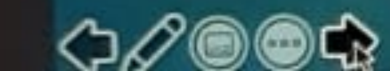



30
Überwachung von medizinisch exponiertem Personal:
- Dosimeter
- ärztliche Kontrollen
- Strahlenschutzunterweisungen
MediDoceo - Strahlenschutz für die Kenntnisprüfung
17.01.20



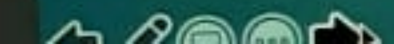
12 Regeln zum Schutz der Patienten

- 1. Strenge Indikationsstellung
- 2. keine überflüssigen Untersuchungen
- 3. Schwangerschaften abfragen!
- 4. Optimierung der Strahlenqualität
- 5. Verringerung der Feldgröße
- 6. großer Fokus-Haut-Abstand
- 7. kurze Expositionszeit
- 8. Verstärkerfolien
- 9. Regelmäßige Wartung der Geräte
- 10. Radionuklide mit kurzer Halbwertzeit
- 11. Strenge Sicherheitsvorkehrungen
- 12. Dokumentation!



Strahlenbiologie

- **Zelluläre Antwort auf Bestrahlung:**
  - DNA – Schädigung
  - Zellfunktionsschädigung



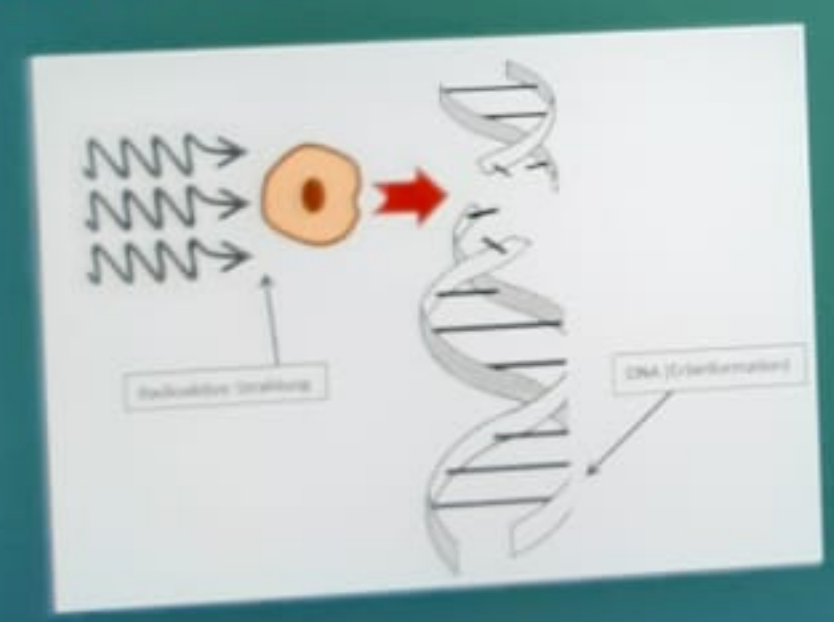
Strahlenbiologie

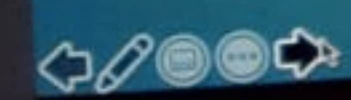




<u>Die Folgen an der DNA durch Strahlung:</u>

- Einzelstrangbrüche
- Doppelstrangbrüche
- irreparable Mehrfachschäden





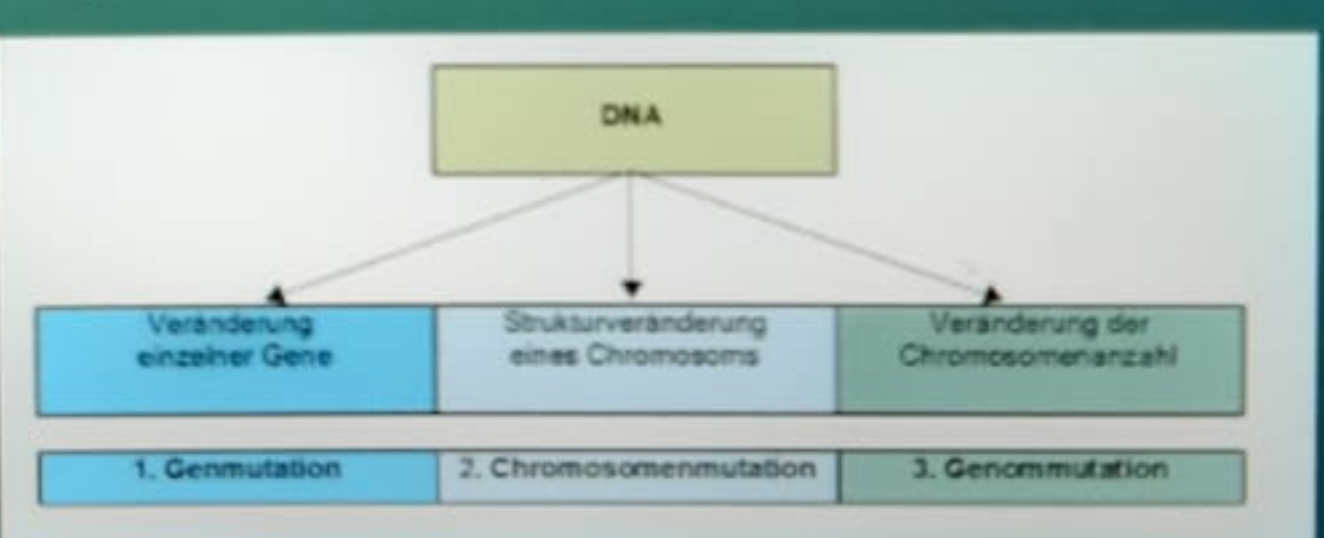
Strahlenbiologie

Folgen der DNA-Veränderung:

- fehlerhafte Reparaturen
- unvollständige Reparaturen

Folge der Reparaturfehler:

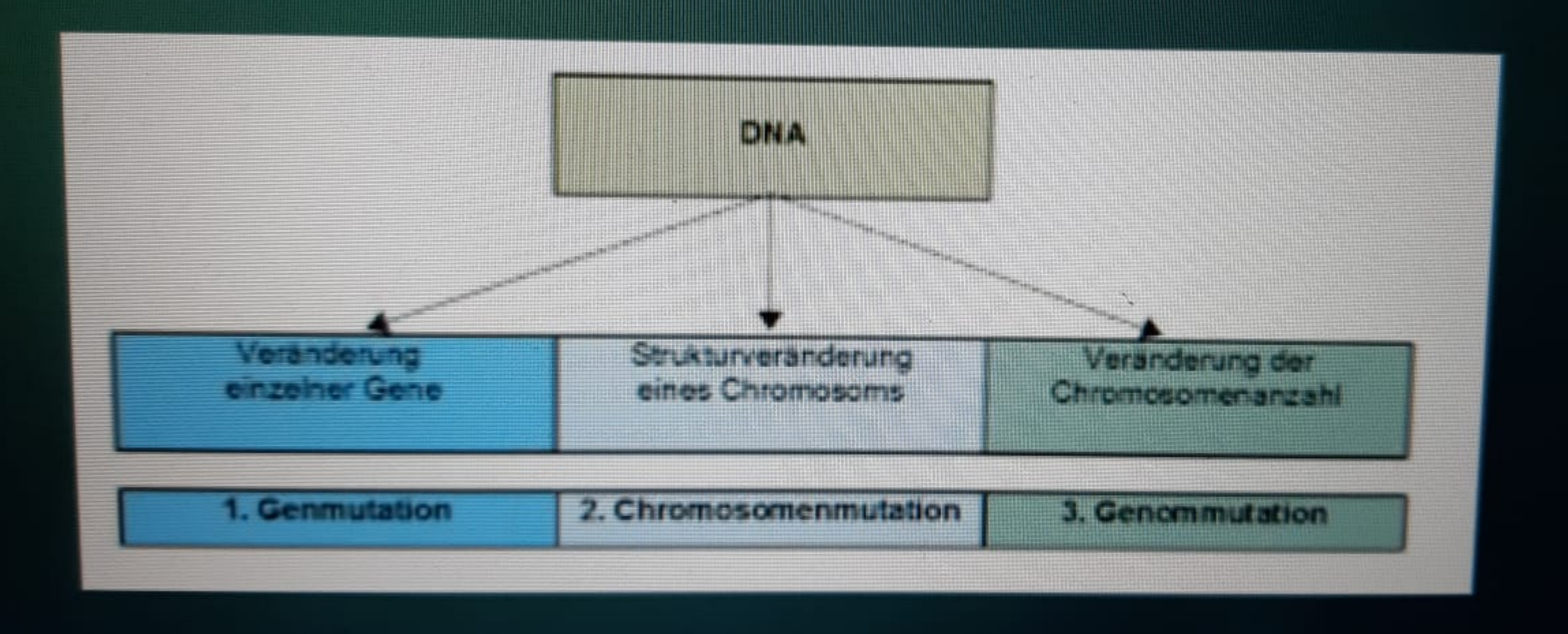
- Dauerhafte Veränderungen der Erbinformation (=Mutation)
- → maligne Entartung



enler.

lerungen der Erbinformation

ng



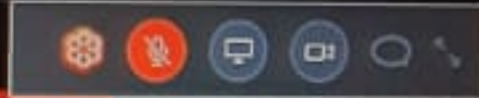
Proteinveränderungen durch Strahlenbelastung:

1. Störung der Proteinbiosynthese
2. Enzymschädigungen

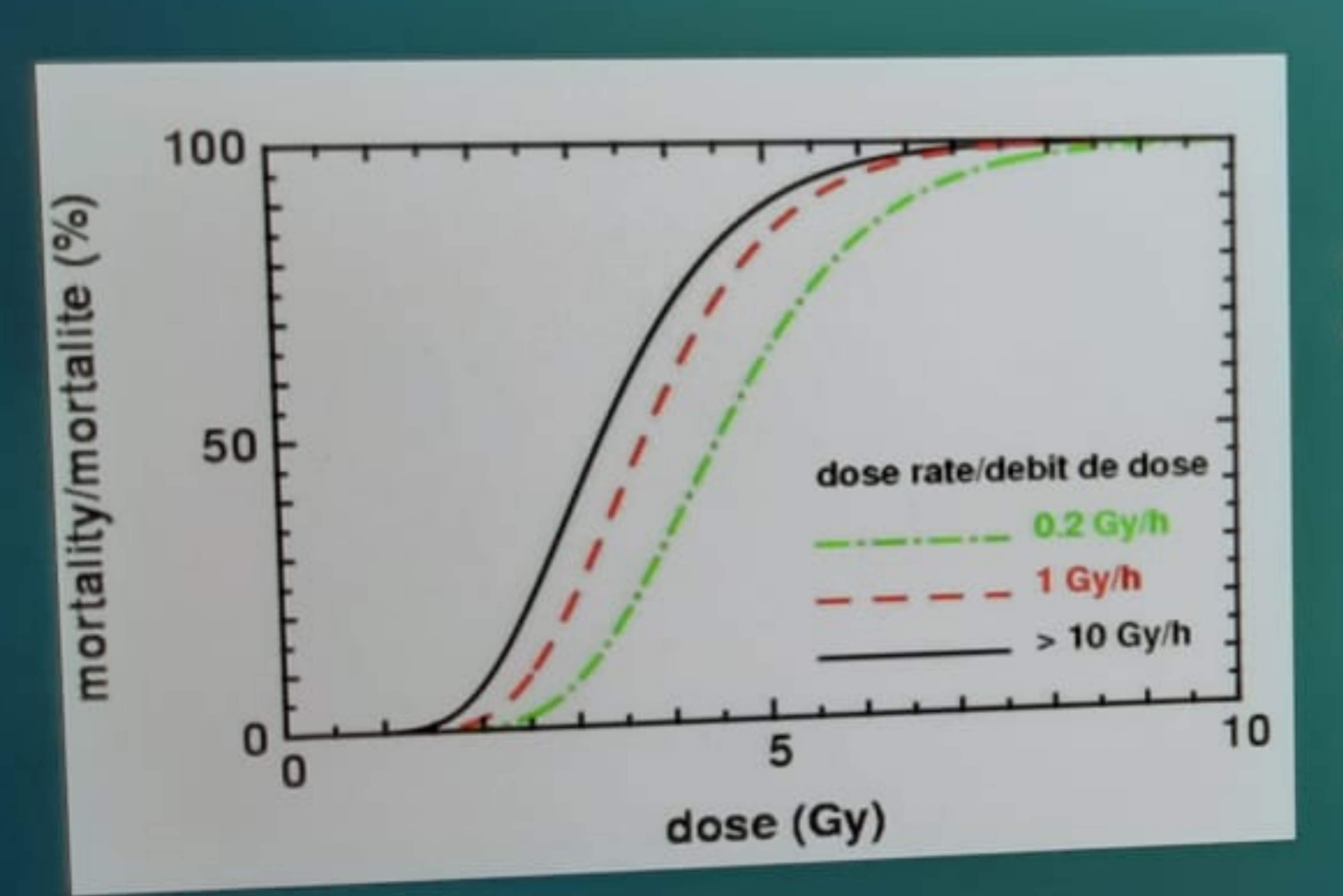
Zelltod als Bestrahlungsfolge

- **Mitosetod**
  = Verlust der zellulären Teilungsfähigkeit





Dosis- Effekt – Kurve:

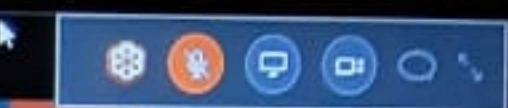


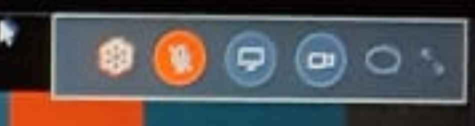
Je höher die Dosis, desto größer der Effekt!

Strahlenempfindlichkeit –

Deterministische und **stochastische** Strahlenschäden

- Statistische Begriffe
  - Deterministischer Schaden: vorbeststimmbar
  - Stochastischer Schaden: zufällig





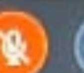
Deterministische Strahlenwirkung

- der Strahlenschaden ist vorbestimmbar!
- Schädigung durch Strahlung erfolgt <u>sofort oder innerhalb von Wochen!</u>
- Schädigung ist <u>auf eine bestimmte Strahlenexposition zurückzuführen!</u>

Stochastische Strahlenwirkung

- Die Schädigung einer Strahlendosis tritt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auf.
- Beschreibt das Risiko für einen Strahlenschaden



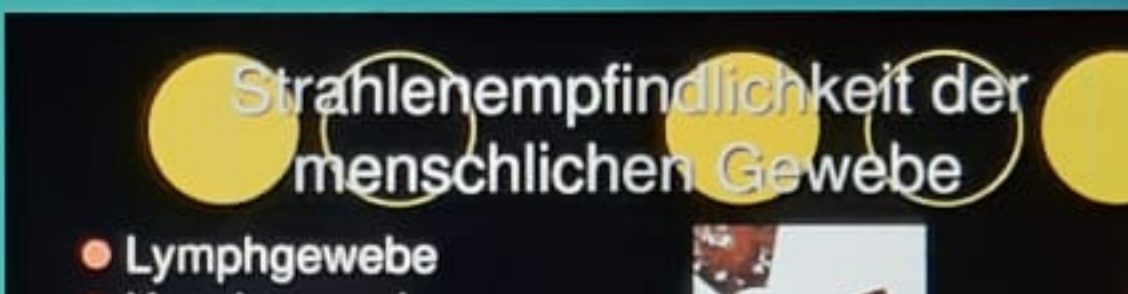
   

Strahlenempfindlichkeit bestimmter Gewebe

ist abhängig von:

- **Zellzyklus**
- **Sauerstoffversorgung**
- **Gewebetyp**

(je undifferenzierter ein Gewebe, strahlensensibler die Zelle)



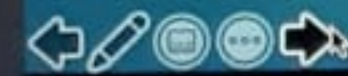
- Lymphgewebe
- Knochenmark
- GI Schleimhaut
- Gamete - Keimzellen
- Haut – proliferative Zellschicht(stratum basale)
- Gefässe - Endolthelzellen
- Drüsengewebe, Leber
- Bindegewebe
- Muskelgewebe
- Nervengewebe



Gesetz von Bergonié-Tribondeau(1906) : die Strahlenempfindlichkeit der Zelle während Zellyklusses
S fázis < G1-G2 Phase< M Phase => Reproduktionspotenzial ~ Strahlenempfindlichkeit

Strahleninduzierte Spätwirkung

- tritt 90 Tage nach Belastung auf, in Form von chronischen Strahlenschäden
- meist irreversibel!
- meist an: Gefäßen, Knochen, Muskel- und Bindegewebe, Darm, Rückenmark



Strahlenempfindlichkeit verschiedener Gewebe

- **Hämatopoese:** Stammzellen sind am empfindlichsten
- **Magen-Darm-Trakt:** Mukositis mit Strahlenenteritis
- **Nervensystem:**
  - peripher: sehr strahlenresistent
  - ZNS: sehr strahlensensibel: z.B. Strahlenenzephalitis
- **Auge:** Linse(Kataraktbildung)
- **Haut:** Radiodermatitis ab 2 Gy
- **Gonaden:** sehr strahlensensibel: (Spermatogenese, Mutationen)
- **Erbgut:** Keimzellmutation



Tumorinduktion und Kanzerogenese

Werden Strahlenschäden nicht repariert, kommt es zu:

- Unkontrollierter Zellteilung
- Wachstum
- Maligner Entartung

Grund:

Aktivierung von Onkogenen durch Mutation!

Tumorinduktion und Kanzerogenese

Grund:

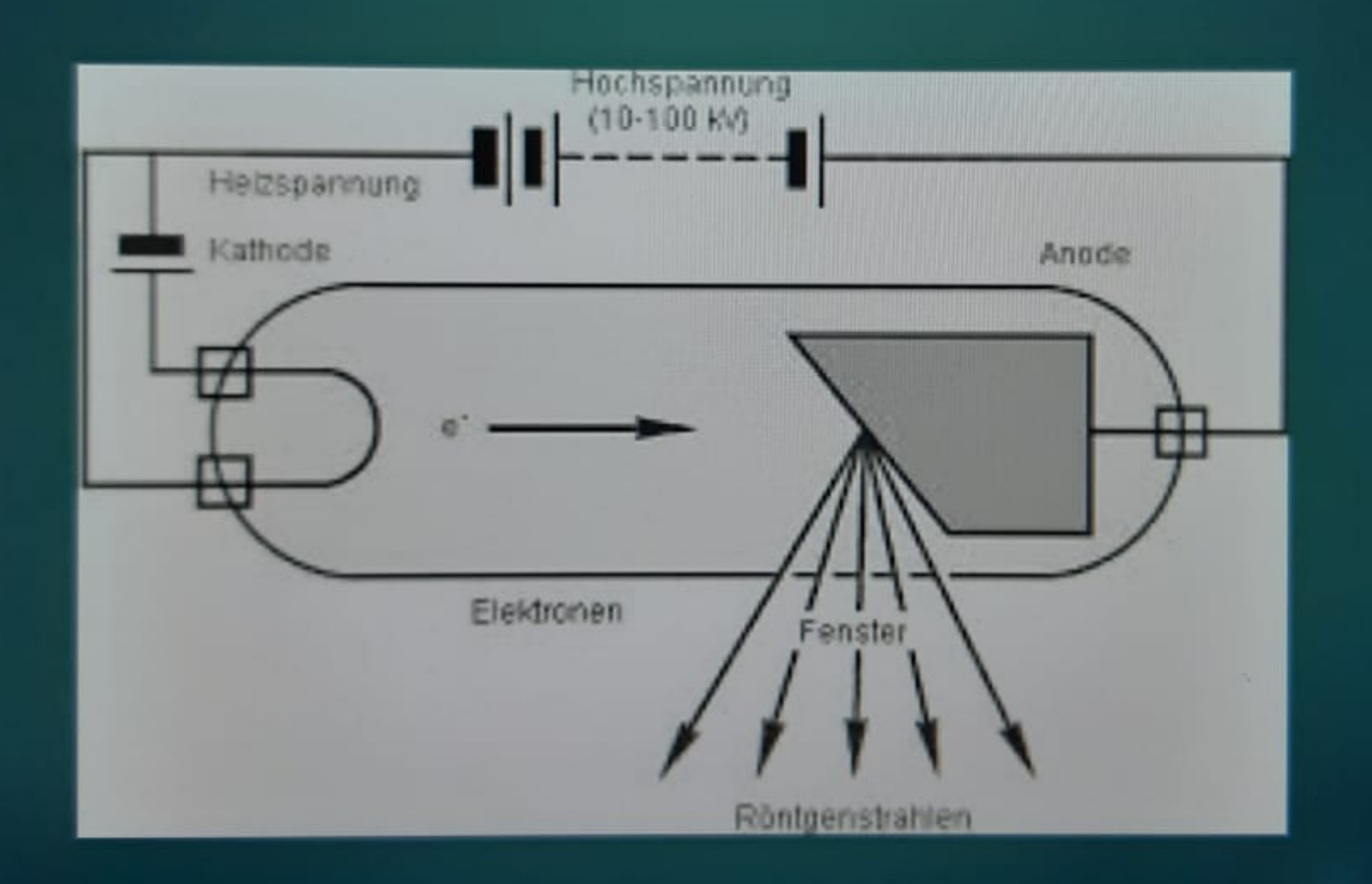
Aktivierung von Onkogenen durch Mutation!

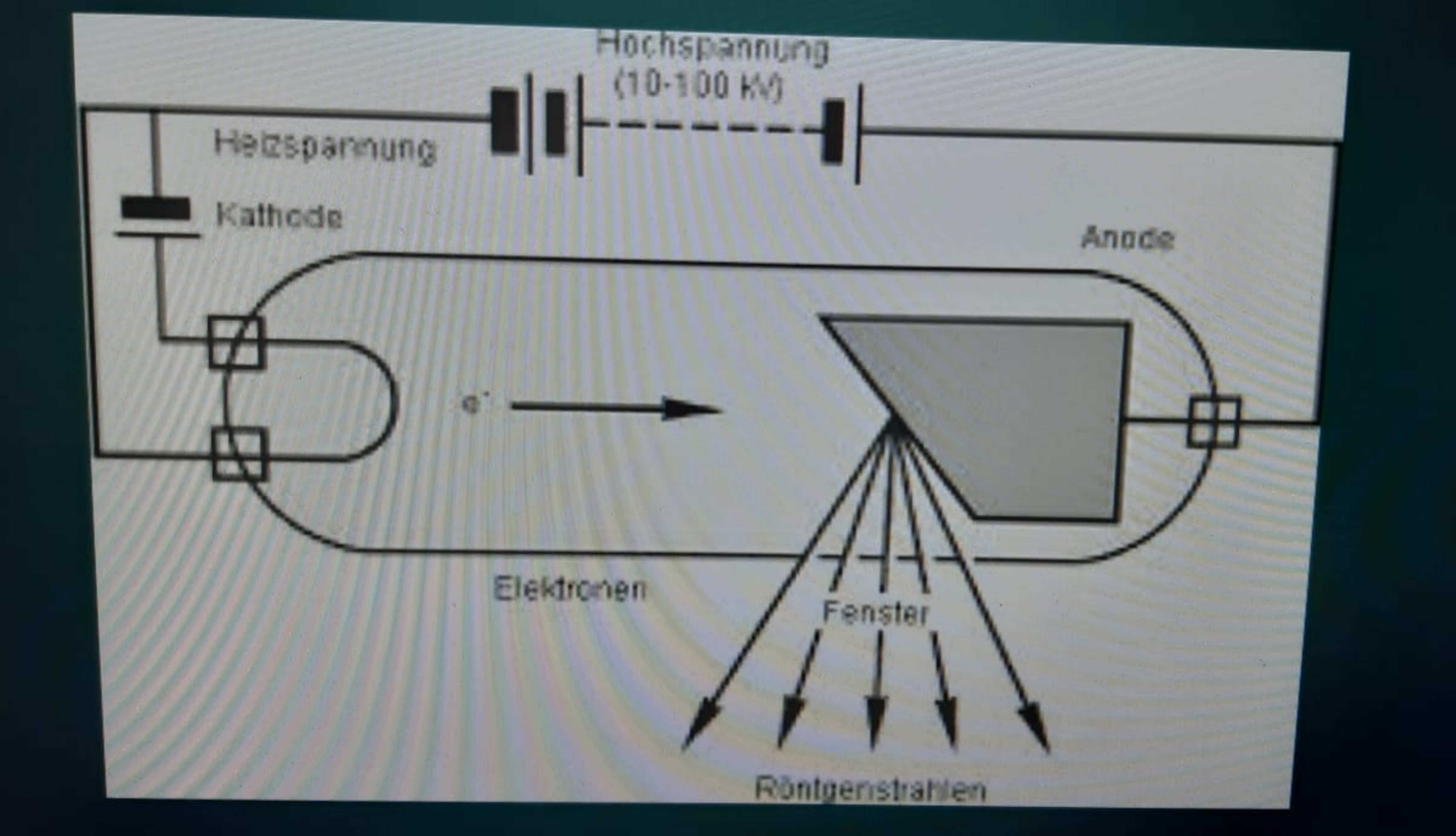
= Kanzerogenese!

→ Risiko für Tumorentwicklung steigt mit Äquivalenzdosis

→ oft liegen mehrere Jahre Latenzzeit zwischen Entartung und Tumorwachstum!

Röntgendiagnostik



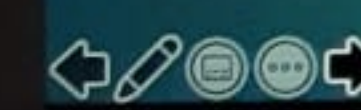

Hochspannung
(10-100 KV)
Heizspannung
Kathode
Anode
e⁻
Elektronen
Fenster
Röntgenstrahlen

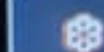
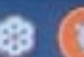
Bremsstrahlung

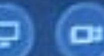
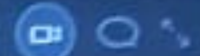
→ niederenergetische Strahlenanteile

- Weiche Strahlen
- Erzeugen keine Bildinformationen
- Werden am Patienten stark absorbiert





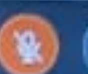
Bremsstrahlung

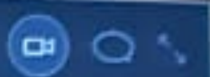
→ niederenergetische Strahlenanteile

- Weiche Strahlen
- Erzeugen keine Bildinformationen
- Werden am Patienten stark absorbiert







Absorption von niederenergetischen Röntgenstrahlen verhindern!

Wie?

- Strahlung wird „aufgehärtet“:
- **Filter:** Aluminium- oder Kupferfilter absorbieren niederenergetische Strahlenanteile

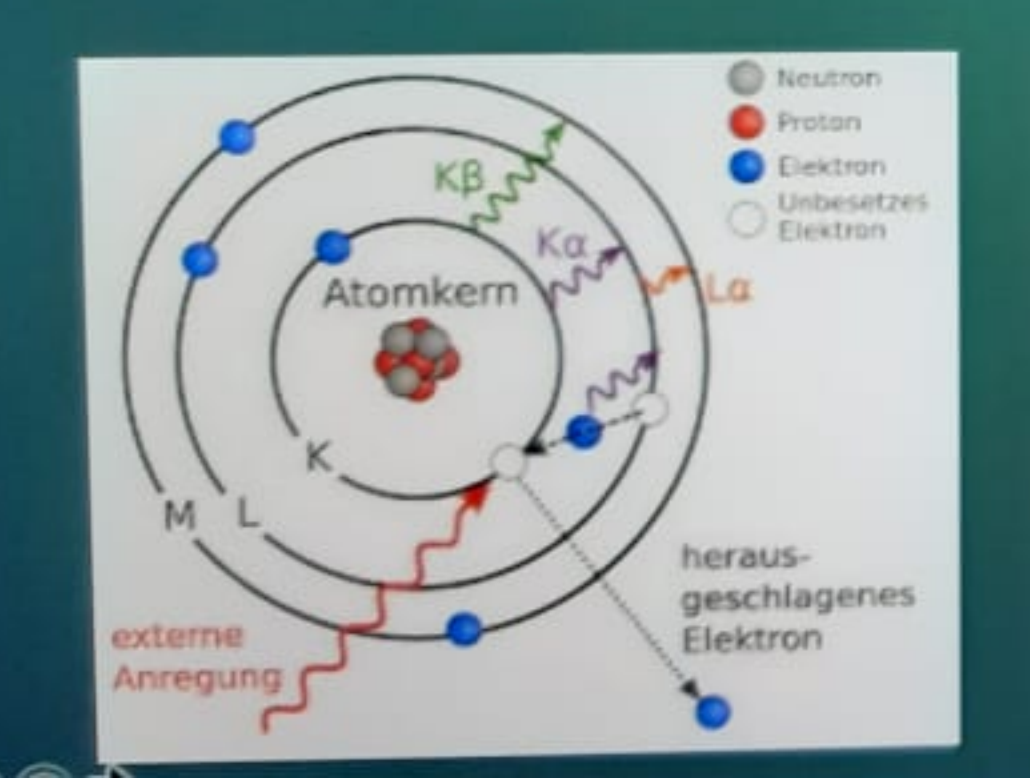
Warum?

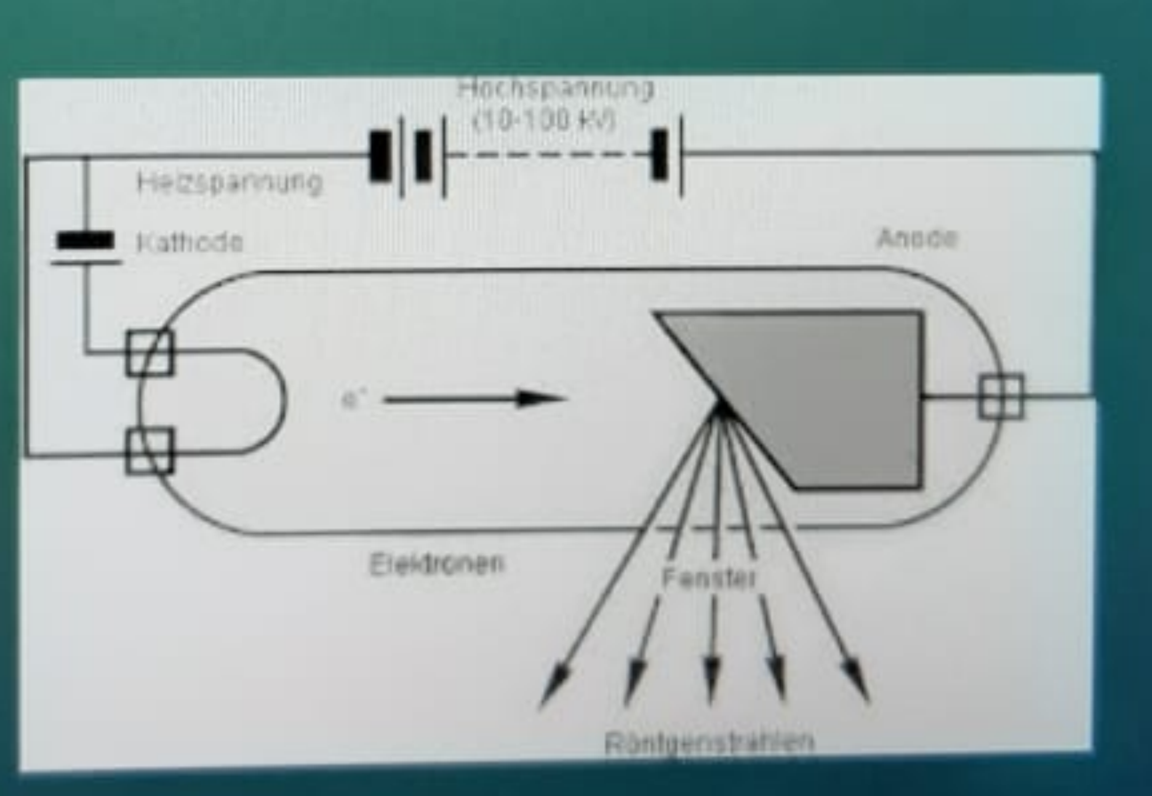
- Um die Strahlenbelastung zu reduzieren (Strahlenschutz)



Charakteristische Strahlung

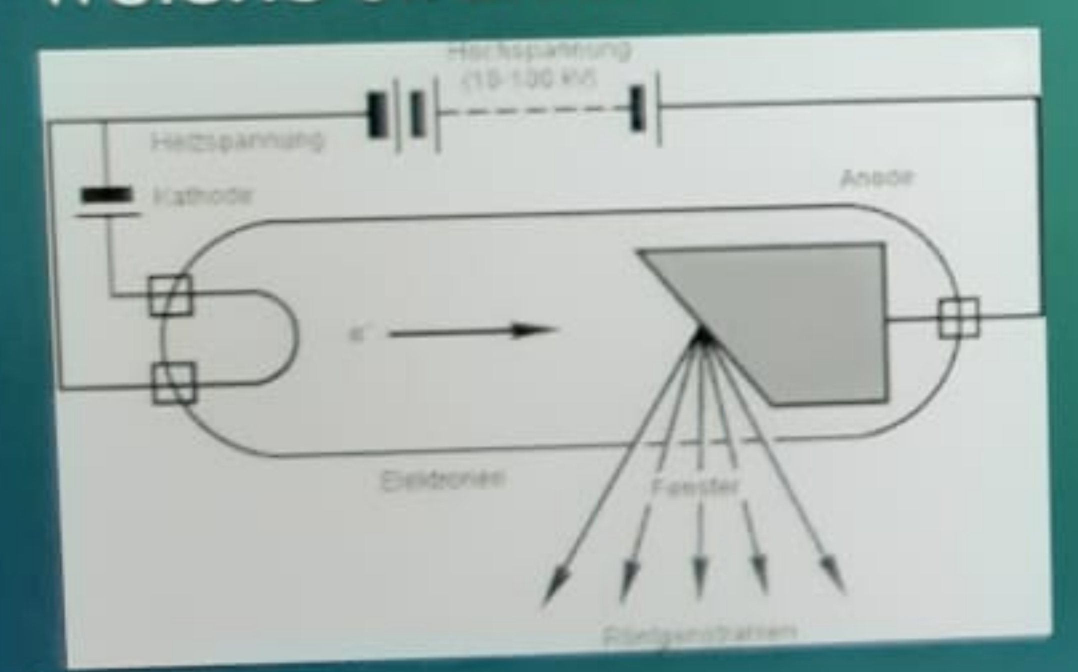
- Charakteristische Röntgenstrahlung entstehen durch Abbremsen von Elektronen an der Anode in der Röntgenröhre
- Dabei wird Energie frei (sog. elektromagnetische Wellen)
- Diese Energie äußert sich als Licht (sog. Röntgenlicht)





Harte Strahlung Weiche Strahlung

Abhängig von der Röhrenspannung unterscheidet man bei der charakteristischen Strahlung harte und weiche Strahlen:





Weiche Strahlung

<u>Elektrische Röhrenspannung < 100 keV</u>

→ für Weichteilaufnahmen (z.B. Mammografie)

→ für kontrastreiche Darstellung

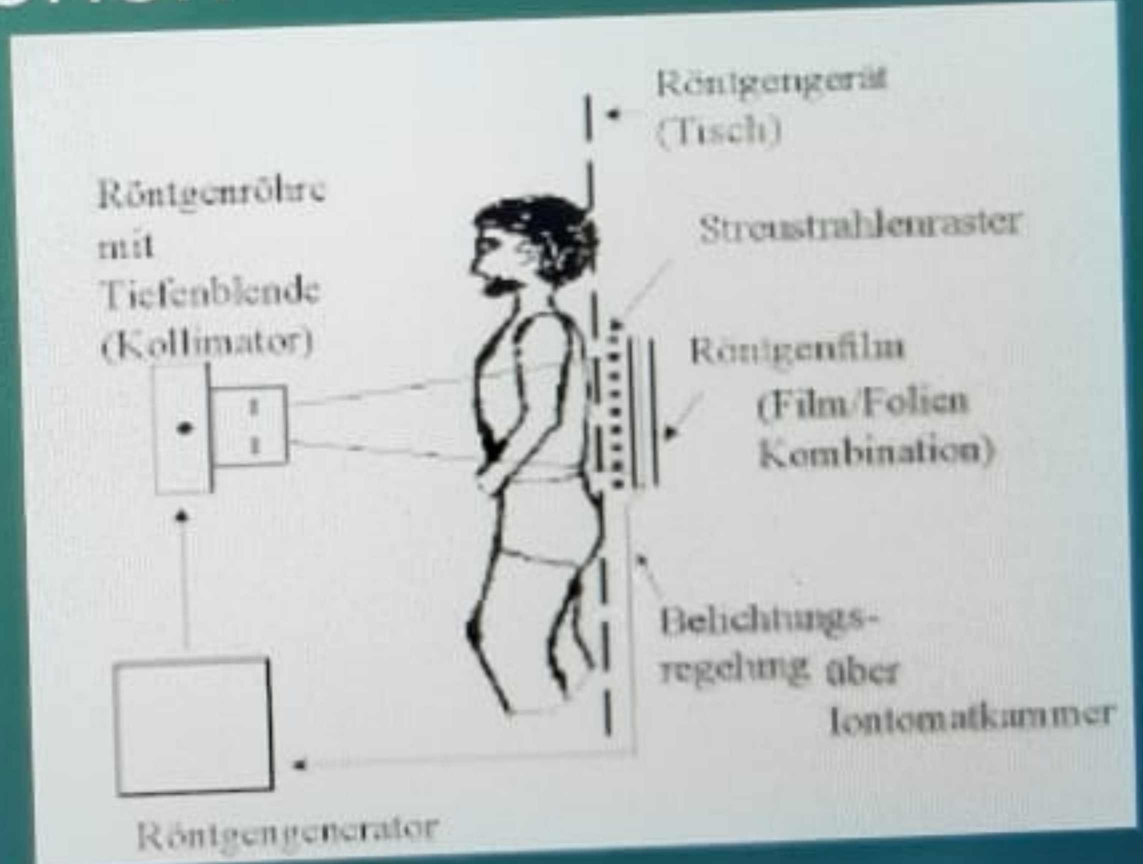
→ wenig Streustrahlung!

→ wird fast vollständig vom Gewebe resorbiert!

→ hohe Strahlenbelastung!!

Verstärkerfolien (Strahlenschutz)

- Zur Dosisreduzierung benutzt man
  - Film-Folien-Kombinationen
  - Streustrahlenraster

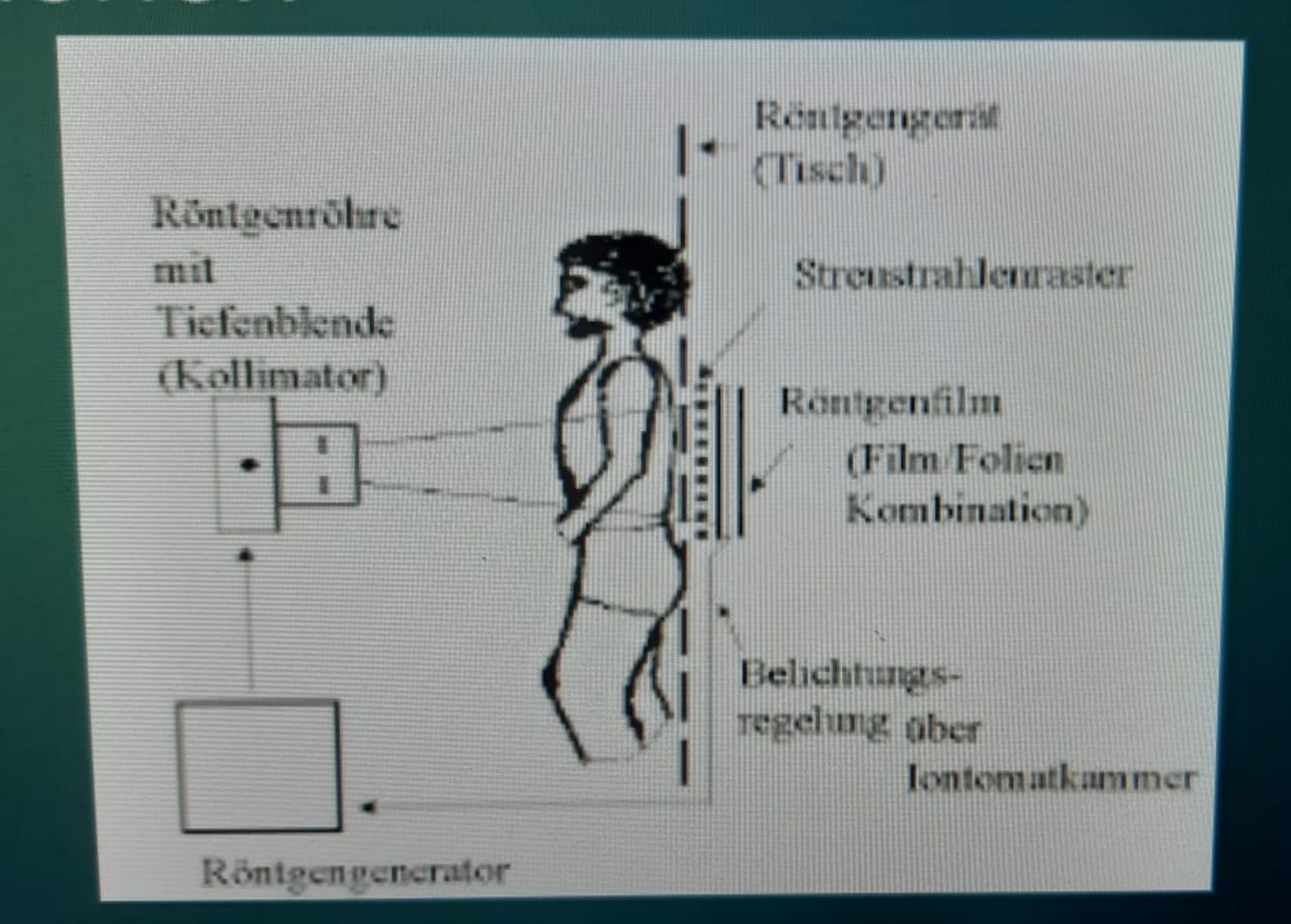


Harte Strahlung

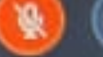
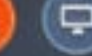
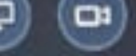
Elektrische Röhrenspannung zw.100 keV bis 1 MeV

- wird häufig in der Medizin eingesetzt
- ideal bei Strukturen unterschiedlicher Dichte (z.B. Weichteil-Luft-Kontrast der Lunge)
- geringe Strahlenabsorption im Gewebe
- kürzere Belichtungszeit
- viel Streustrahlung

ter



Röntgengerät
(Tisch)
Röntgenröhre
mit
Tiefenblende
(Kollimator)
Streustrahlenraster
Röntgenfilm
(Film/Folien
Kombination)
Belichtungs-
regelung über
Iontomatkammer
Röntgengenerator

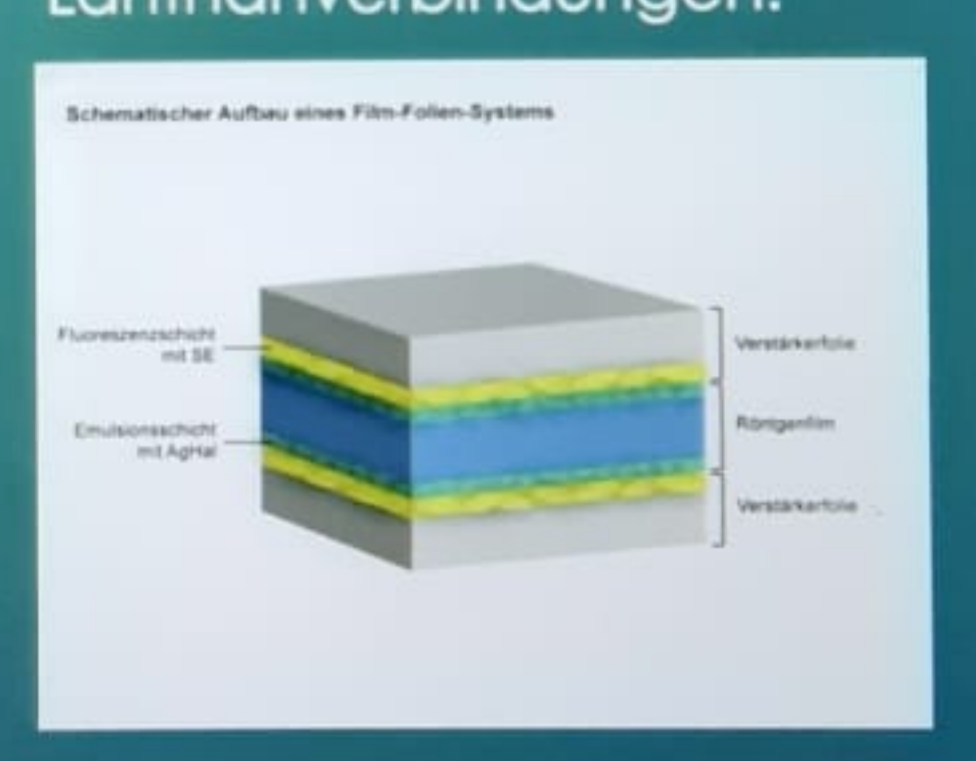
Film-Folien-Kombinationen

- **Sinn:** Sichtbarmachung von Röntgenstrahlen
- **Besteht aus:** Röntgenfilm + Verstärkerfolie mit Leuchtmitteln

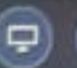
Röntgenfilm: enthält lichtempfindliche Silberbromidkristalle:

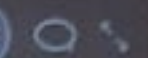


Verstärkerfolie: Leuchtstoffe, meist Gadolinium- oder Lanthanverbindungen:







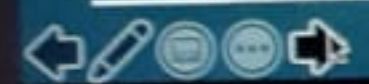


Belichtungsparameter beim Röntgen

- Röhrenspannung in kV
- Röhrenstrom in mA
- Belichtungszeit in Sekunden



Strahlendosis beim Röntgen = Röhrenspannung X Röhrenstrom x Belichtungszeit



Die Belichtung muss an die Fragestellung und das Objekt angepasst angepasst sein.

Strahlendosis beim Röntgen = Röhrenspannung X Röhrenstrom x Belichtungszeit

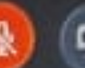
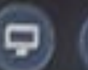
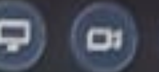
Röntgenstrahlung wird im Gewebe geschwächt

Die Schwächung abhängig von

1. Dicke, Dichte und Ordnungszahl des Gewebes

2. Strahlenqualität: je weniger die Strahlung geschwächt/absorbiert wird → desto stärker die Schwärzung (hart oder weich)



Was bedeutet: „Röntgenbilder sind Negativbilder?“

- geringe Filmschwärzung

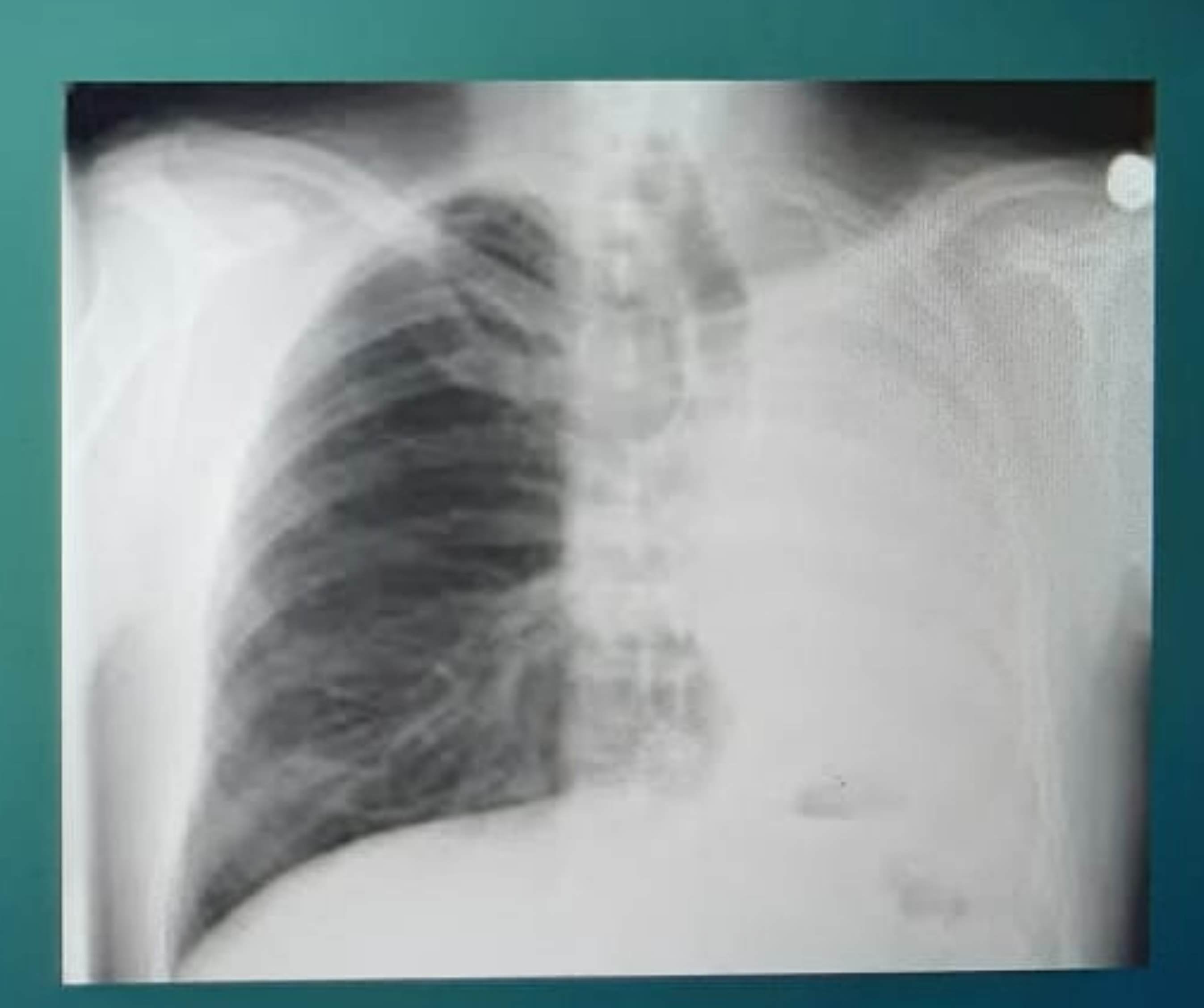
→ Erscheint **hell**

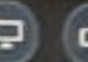
→ **Verschattung**

- hohe Filmschwärzung

→ Erscheint **dunkel**

→ **Aufhellung**

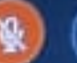


Was ist „Kontrast“ beim Röntgenbild?

- Die Differenz von kleinster und größter Schwärzung auf dem Röntgenfilm!

- Der Kontrast ist abhängig von:
  - Absorption
  - Strahlenqualität
  - Streustrahlung



Ursachen für „Unschärfe“ auf einem Röntgenbild?

- Bewegung während der Röntgenaufnahme
- Zu lange Belichtungszeit
- Falsche Lagerung
- Streustrahlung

Kann vermieden werden durch:

- Kurze Belichtungszeit
- Optimale Lagerung
- Streustrahlenraster

Streustrahlung & Streustrahlenraster:

- dünne, parallel zum Strahlenbündel verlaufende Bleilamellen

- zwischen Patient und Film angebracht



Effekt:

- sie erhöhen den Bildkontrast

aber:

- sie absorbieren einen Teil der Nutzstrahlung

→ deshalb ist eine längere Belichtungszeit erforderlich

→ höhere Strahlenexposition